

выставки «Современные технологии и приборы неразрушающего контроля и технической диагностики». Харьков: 20-21 ноября 2003 г. С. 13 – 15. **18. Себко В. П., Сучков Г.М., Алексеев Е. А.** Оптимизация параметров ЭМА толщиномеров для контроля тонкостенных изделий. - Дефектоскопия. 2002. № 12. С. 21 - 28. **19. Бердников В.М., Лещенко Н.Г., Мужичкий В.Ф.,** и др. Опыт опробования электромагнитно – акустических толщиномеров типа ЭМАТ-100 на предприятиях МПС и в нефтегазовой промышленности // Дефектоскопия. 2004. № 1. С. 20 – 24. **20. Самокрутов А.А., Бобров В.Т., Шевалдыкин В.Г.** и др. Применение ЭМА толщиномеров А1270 для контроля проката из алюминиевых сплавов // В мире неразрушающего контроля. 2002. № 4 (18). С. 24 – 28. **21. Лещенко Н.Г., Шаповалов П.Ф.** Малогабаритный ЭМА толщиномер ЭМАТ-1 // Дефектоскопия. 1993. № 10. С. 95 – 96. **22. Безлюдько Г.Я., Долбня Е.В., Мужичкий В.Ф.** и др. Портативные электромагнитноакустические толщиномеры (ЭМАТ) // Дефектоскопия. 2004. № 1. С. 46 – 53. **23. Вісков О.В.** Підвищення вірогідності та інформативності акустичного контролю трубних виробів. Автореф. канд. дис. Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. 2003. – 20 с. **24. Безлюдько Г.Я., Долбня Е.В., Лещенко Н.Г.** и др. Портативные электромагнитноакустические толщиномеры (ЭМАТ) // Дефектоскопия. 2004. № 4. С. 28 - 35. **25. Сучков Г.М.** Разработка технологии и аппаратуры для ЭМА толщиномеров // Контроль. Диагностика. № 11. 2001. С. 38-39. **26. Вагрия Д. М., Сучков Г.М., Виноградов В. В.** и др. Создание электромагнитно – акустического толщиномеров для контроля тонкостенных труб // Дефектоскопия. 2002. № 10. С. 7-13. **27. Сучков Г. М.** Обработка информации. Возможности корреляционного анализа при толщинометрии ЭМА методом // Контроль. Диагностика. 2002. № 8. С.37 - 40. **28. Сучков Г.М.** Обработка информации. Повышение возможностей корреляционного анализа в ЭМА приборах // Контроль. Диагностика. - 2004. - № 12. - С. 13-16. **29. Козлов В.Н., Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г.** Применение корреляционных методов обработки сигналов импульсных ультразвуковых толщиномеров. 16-я российская научно-техническая конференция «неразрушающий контроль и диагностика». Труды конференции. Санкт-Петербург, 9-12 сентября, 2002 г., доклад 2.01. **30. Palmer S.B.** Industrially viable non-contact ultrasound. Insight. 2003. V.45. N.3. P.211-217. **31. Петрищев О.Н.** Математическое моделирование преобразователей электромагнитного типа в режиме приема ультразвуковых волн в металлах. – Акустичний вісник. 2005. Т.8. №3. С. 50-59. **32. Мужичкий В.Ф., Ремезав В.Б., Комаров В.А.** К основам ЭМА толщинометрии с помощью накладных преобразователей. Обратное и двойное ЭМАП в нормальном поляризующем поле. Дефектоскопия. 2007. № 1. С. 64-79. **33. Мужичкий В.Ф., Ремезав В.Б., Комаров В.А.** К основам ЭМА толщинометрии с помощью накладных преобразователей. Обратное и двойное ЭМАП в тангенциальном поляризующем поле. Дефектоскопия. 2007. № 2. С. 35-52. **34. Комаров В.А., Мужичкий В.Ф., Гуревич С.Ю.** Теория физических полей. Т.111. Связанные поля. – Челябинск-Ижевск: ЮУрГУ, 2000, - 627 с. **35. Петрищев О.Н., Сучков Г.М.** Теоретические концепции создания преобразователей электромагнитного типа. Режим возбуждения // Вестник НТУ «ХПИ» – 2009. – Вып. 14. – С. 34 – 44. **36. Сучков Г.М.** Построение приборов для ультразвукового контроля и измерений с использованием ЭМА способа возбуждения и приема упругих импульсов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - 2005. - № 2 - С. 36-39. **37. Коген-Далин В.В., Комаров В.Е.** Расчет и испытание систем с постоянными магнитами. – М.: Энергия, 1977. – 248 с. **38. Сучков Г.М.** Исследование особенностей распространения упругих волн, возбужденных ЭМА способом. - Контроль. Диагностика. 2001. №12. С.36-39. **39. Сучков Г.М.** Исследования ЭМА способом выявления плоскостных отражателей в образцах из различных материалов // Контроль. Диагностика. 2002. № 5. С. 50-51.

УДК 620.179.111

**С.Н. ГЛОБА**, к-т техн. наук, доц., НТУ "ХПИ";  
**Н.Ф. ХОРЛО**, директор АЦНК ОАО ПТП "Укрэнергочермет";  
**С.В. СТОРОЖЕНКО**, инженер-методист АЦНК ОАО ПТП "Укрэнергочермет" (г. Харьков)

## ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КАПИЛЛЯРНОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Описані капілярні методи неруйнівного контролю поверхні об'єктів. Розглянуто основні сумісні дефектоскопічні матеріали, які укомплектовують в цільові дефектоскопічні набори. Наведені також інші методи контролю поверхневих дефектів. Проаналізовано особливості проведення капілярного методу неруйнівного контролю. Виділені переваги щодо використання на практиці капілярних методів неруйнівного контролю.

The penetrate nondestructive testing of surface objects are described. The main defektoscope compatible materials, which are usual completed in special testing set, are considered. Other methods of surface defects control are described. The features of the penetrate nondestructive testing are analyzed. The advantages of using penetrate methods in practice of nondestructive testing are pointed.

Капиллярный метод (РТ) является одним из наиболее распространенных поверхностных методов неразрушающего контроля (НК). РТ основан на проникновении индикаторных жидкостей (пенетрантов) в полости поверхностных дефектов (несплошностей) материала объекта контроля (ОК) под действием капиллярных сил с последующей регистрацией образующихся индикаторных следов из полостей дефектов визуальным способом или с помощью приборов [1-3]. Получаемый индикаторный рисунок представляет собой «след дефекта», образованный индикаторной жидкостью в месте его выхода на поверхность ОК. Для извлечения пенетранта из полости дефекта используется проявитель для выделения контрастирующего с индикацией фона (например, для цветного контроля – это красный пенетрант на белом фоне проявителя), что способствует улучшению выявляемости. По своей величине получаемая индикация в несколько раз превышает ширину раскрытия дефекта, что и позволяет обнаруживать невооруженным глазом места их расположения.

Основные капиллярные методы контроля в зависимости от способа получения первичной информации согласно ГОСТ 18442-80 [4] классифицируют на:

- яркостной (ахроматический);
- цветной (хроматический);
- люминесцентный;
- люминесцентно-цветной.

Капиллярные методы могут быть комбинированными, т. е. основанными на сочетании двух и более различных по физическому принципу методов

неразрушающего контроля (капиллярно-магнитный, капиллярно-электростатический, капиллярно-радиационный излучения и т. п.).

При РТ применяют и используют капиллярные дефектоскопические материалы для пропитки, нейтрализации или удаления избытка проникающего вещества с поверхности и проявления его остатков с целью получения первичной информации о наличии несплошности в ОК. Основные дефектоскопические материалы – *индикаторный пенетрант, очиститель* ОК от пенетранта, *проявитель* пенетранта и *гаситель* пенетранта [4]. Дефектоскопические материалы выбирают в зависимости от требований, которые предъявляются к ОК, состояния ОК, условий контроля и укомплектовывают в целевые наборы дефектоскопических материалов, куда входят полностью или частично совместимые дефектоскопические средства.

На рис. 1 представлен используемый часто на практике дефектоскопический набор NORD-TEST (HELLING GMBH, Германия) для проведения контрастного (красно-белого) метода, в который входят аэрозольные баллоны по 500 мл:

- очиститель U87;
- пенетранты U88 и Rot 3000;
- проявитель U89.

Очиститель U87 экологически безопасен на спиртовой основе, быстро испаряется не оставляя следов. Пенетранты U88 и Rot 3000 имеют высокую чувствительность – II-уровень

(согласно DIN EN ISO 3452-2), хорошо смываются водой, имеют незначительный запах. Пенетрант Rot 3000 применяется для контроля люминесцентным методом с помощью УФ освещения. Проявитель U89 – очень мелкозернистый белый порошок на спиртовой основе, не содержит ароматических добавок. Представленный дефектоскопический набор NORD-TEST широко применяют в различных областях промышленности для контроля легированных сталей, чугуна, цветных металлов, металлических покрытий, сварочных соединений, пластмасс и др. материалов [5].

Рассмотрим другие поверхностные методы НК. Наряду с капиллярным контролем, одними из основных поверхностных методов являются визуально-оптический (VT), магнитопорошковый (МТ) и др. методы НК, получивших достаточно широкое распространение в области неразрушающего контроля. Наиболее простым в применении считается визуально-оптический контроль невооружённым глазом или с помощью оптических приборов (например,



Рис. 1. Дефектоскопический набор NORD-TEST (HELLING, Германия)

лупы, эндоскопов). Визуально-оптический метод позволяет проводить контроль формы изделий и обнаруживать дефекты (трещины, поры, волосовины, плёны и др.) в металлических изделиях, и внутренние дефекты в изделиях из стекла или прозрачных для видимого света пластмасс. Однако, не смотря на свою относительную простоту в применении, VT имеет достаточно небольшую чувствительность по сравнению с РТ контролем. Чувствительность VT невооружённым глазом составляет от 0,1 мм и более согласно ГОСТ 23479-79 [6].

ОК из ферромагнитных материалов обычно контролируют магнитопорошковым методом, который основан на обнаружении магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами с помощью ферромагнитных частиц, которые под действием магнитного поля притягиваются к месту расположения дефекта и накапливаются над ним, образуя индикацию. МТ позволяет выявлять как поверхностные, так и подповерхностные (скрытые на небольшой глубине) дефекты, обеспечивая при выявлении поверхностных несплошностей более высокую чувствительность по сравнению с VT, но уступающую капиллярному методу. Минимальный выявляемый условный дефект по уровню чувствительности «А» [7] имеет ширину раскрытия 2,0 мкм и протяженность 0,5 мм. В свою очередь, МТ требует использования дополнительного оборудования (дефектоскопов), имеет ограничения по применению, которые связаны с формой и размерами контролируемых объектов, условиями их эксплуатации, но прежде всего с магнитными свойствами контролируемых материалов. МТ применим только для деталей из ферромагнитных материалов с относительной магнитной проницаемостью  $\mu \geq 40$  согласно требований ГОСТ 21105-87 [7].

Среди основных капиллярных методов наиболее широкое применение на практике получил цветной (хроматический) метод, основанный на регистрации контраста цветного индикаторного рисунка на фоне поверхности ОК в видимом излучении. Не менее распространен и люминесцентный метод, который позволяет достичь максимальную чувствительность, однако требует наличие специальной аппаратуры для регистрации контраста люминесцирующего видимого индикаторного рисунка на фоне поверхности ОК в длинноволновом ультрафиолетовом (УФ) излучении.

При цветном методе капиллярной дефектоскопии необходимо наличие:

- совместимого набора дефектоскопических материалов для цветной дефектоскопии (в общем случае это набор дефектоскопических материалов, состоящий из трех элементов: очиститель, пенетрант и проявитель);

- необходимых условий для проведения контроля, таких как освещение, облущенность, подготовка (очистка) поверхности ОК и полостей выявляемых дефектов, контрольный образец для проверки качества дефектоскопических материалов (заключается в определении степени выявляемости дефектов с заданными линейными размерами);

- квалифицированного персонала для качественного проведения

капиллярного контроля в соответствии с требованиями НД, четкого и последовательного выполнения технологических операций, обработки и интерпретации полученных результатов, соблюдения необходимой техники безопасности. Персонал должен быть сертифицирован в соответствии с признанной процедурой сертификации – национальной (НПА ОП 0.00-6.14-97) или международной (EN 473: 2008).

Цветной капиллярный метод неразрушающего контроля широко применяется для обнаружения поверхностных дефектов (трещины, поры и др.) в металлах и сварных соединениях. Процесс контроля цветным методом можно разделить на следующие основные этапы:

- подготовка поверхности ОК (очистка поверхности и полостей дефектов от всевозможных загрязнений);
- нанесение на поверхность (пропитка) контролируемого участка дефектоскопического материала – пенетранта (от лат. *penetrans* – проникающий), который проникает в поверхностные дефекты ОК;
- удаление очистителем излишков пенетранта с поверхности ОК;
- нанесение на поверхность ОК проявителя (проявление), содержащего светлое (белое, желтое) адсорбирующее вещество, способствующее извлечению пенетранта из дефектов, и одновременно служащее для создания необходимого контраста.

В результате проведения цветного метода РК контроля поверхностные дефекты ОК обнаруживаются в виде ярких, четких (цветных, люминесцентных или бесцветных) линейных или круглых индикаций на контрастном фоне.

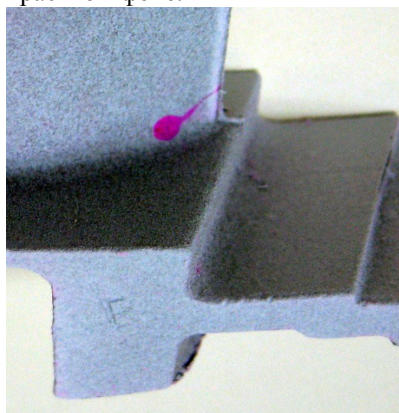


Рис. 2. Индикация от дефекта типа трещина на лопатке турбины

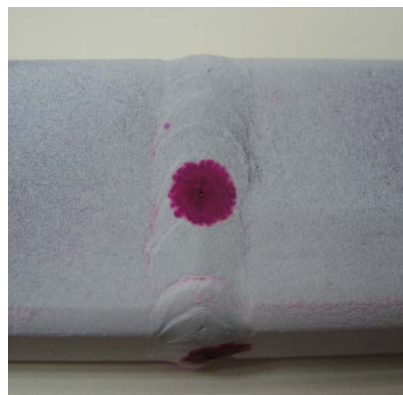


Рис. 3. Круглая индикация в сварном шве от дефекта типа пора

Чем больше контраст достигается между цветным рисунком (следом) и проявителем (фоном), тем выше чувствительность, а следовательно больше

вероятность обнаружения дефекта. На рис. 2 и рис. 3 показаны результаты контроля цветным капиллярным методом, полученные на базе АЦНК ОАО ПТП "Укрэнергочермет" (г. Харьков).

Таким образом, при капиллярном методе контроля поверхностных дефектов можно выделить следующие особенности проведения контроля:

1. Необходимость качественной подготовки поверхности объекта контроля и полостей дефекта к проведению контроля. Это требование касается, как и удаления всевозможных загрязнений, препятствующих нанесению и проникновению пенетранта, так и соблюдения требований по параметрам шероховатости поверхности ОК. Какие-либо существенные отклонения или нарушения этих требований может привести к снижению чувствительности контроля, его достоверности, а в некоторых случаях и к пропуску дефектов.

2. Использование в процессе контроля не только стандартных образцов для проверки качества подготовленных дефектоскопических материалов, но и в том числе образцов для мониторингового контроля качества работы всей дефектоскопической системы в целом, как пример – панель PSM-5 (см. рис. 4). Тест-панель PSM-5 позволяет определять реальную чувствительность дефектоскопических материалов при конкретных условиях проведения контроля – температура, влажность, атмосферное давление, временные параметры.

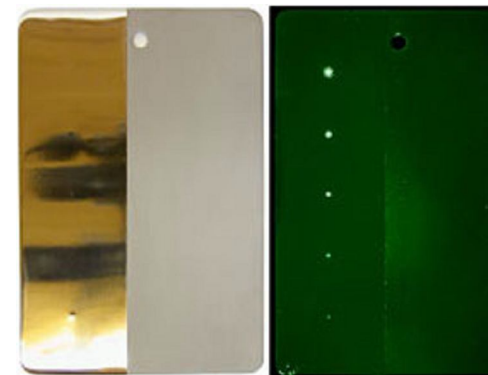


Рис. 4. Тест-панель PSM-5

3. При проведении контроля необходимо учитывать ряд факторов, которые могут повлиять на результаты и достоверность контроля: временные параметры (каждая технологическая операция, например, пропитка, должна выполняться в определенные промежутки времени), температура окружающей среды и поверхности ОК, атмосферное давление, влажность.

4. Различные виды капиллярных методов требуют создания определенных условий для осмотра. Для цветного и яркостного методов осмотр проводится в видимом излучении, при этом используются общее, местное и комбинированное освещение, соответствующее значениям освещенности в зависимости от типа используемых ламп и класса чувствительности согласно требованиям ГОСТ 18442-80, EN ISO 3059:2001. При люминесцентном контроле осмотр проводится в ультрафиолетовом

излучении, что требует применения специальных УФ-ламп определенной мощности и затемненного участка помещения. Обнаружение дефектов происходит по люминесцирующему индикаторному следу. Значения УФ-облученности также установлены в соответствующей НД согласно ГОСТ 18442-80, EN ISO 3059:2001.

5. В процессе проявления, для достоверности расшифровки и интерпретации полученных результатов, возникает необходимость проводить осмотр в два этапа. Первый этап – через 2-4 минуты после высыхания проявителя – для установления характера и действительных размеров более крупных индикаций. Второй этап – через 15-20 минут после высыхания проявителя – определяет характер и размеры более мелких индикаторных рисунков. Существенным фактором является правильность определения характера обнаруженных индикаций и их классификация, что играет важную роль при составлении протокола по результатам контроля, оценке качества проконтролированного объекта, принятии решения об отбраковке.

Преимуществом РТ контроля является то, что с его помощью можно не только обнаружить поверхностные и сквозные дефекты, но по их расположению, протяженности, форме и ориентации по поверхности можно получить важную информацию о характере дефекта и даже некоторых причинах его возникновения (концентрация напряжений, несоблюдение технологии и др.). В качестве достоинств капиллярного контроля необходимо упомянуть и про наглядность полученных результатов (цветная, бесцветная или люминесцентная индикация на контрастном фоне слоя проявителя), достаточную простоту в применении и высокий уровень чувствительности – минимальная ширина раскрытия дефектов по I классу чувствительности составляет менее 1 мкм [4], что является наиболее высоким показателем среди рассмотренных поверхностных методов. Кроме того, в отличие от МТ контроля, РТ контроль позволяет контролировать с целью выявления поверхностных дефектов ОК любых размеров и форм, которые изготовлены из черных и цветных металлов, их сплавов, а в некоторых случаях из неметаллических материалов (таких как керамика, пластмассы и т.п.).

**Список литературы:** 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 4: В 3 кн. Кн. 3: М.В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 736 с. 2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1995. – 488 с. 3. Горкунов Б.М., Глоба С.Н. Капиллярный неразрушающий контроль. Чувствительность и оценка результатов контроля: Учебн.-метод. пособие. – Харьков: НТУ"ХПИ", 2005. – 72 с. 4. ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. 5. Рекламный проспект HELLING GMBH. Неразрушающий контроль, 2004. – 37 с. 6. ГОСТ 23479-79. Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования. 7. ГОСТ 21105-87 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод.

УДК 620.179.14

**Б.М. ГОРКУНОВ**, к-т техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",  
**А.А. ТИЩЕНКО**, асп., НТУ "ХПИ"

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

У роботі запропонований огляд існуючих методів і пристроїв для контролю фізико-механічних характеристик зміцненого шару металевих виробів. Наведено актуальність та проведений аналіз двох основних напрямків контролю фізико-механічних характеристик зміцненого шару металевих виробів, вказана доцільність їх використання. Для кожного методу вказані переваги та недоліки.

In the work the review of existing methods and devices for the testing of the hardened layer of metal products is offered. The actuality is resulted and the analysis of two basic directions in the testing of physicomachanical characteristics of the hardened layer of the metal products, the specified expediency of their use is carried out. For each method merits and demerits are specified.

**Постановка проблемы.** Актуальной задачей современного машиностроения является обеспечение долговечности деталей машин, которая в существенной мере определяется качеством поверхностного слоя. Важными являются вопросы повышения надёжности приборов, установок, повышение их качества и эффективности работы, а, следовательно, вопросы экономии металлов, борьбы с коррозией и износом деталей машин. Особенно это важно в настоящее время, так как развитие большинства отраслей промышленности (авиационная, ракетная, теплоэнергетика, атомная энергетика, радиоэлектроника и др.) связано с повышением нагрузок, температур, агрессивности сред, в которых работает деталь.

Решение этих задач, прежде всего, связано с упрочнением поверхностных слоёв металлических изделий. Изменять свойства поверхностного слоя можно различными способами: нанесением на поверхность нового материала с необходимыми свойствами; изменением структуры поверхностного слоя металла; термической, химической и механической обработками поверхности и другими способами [1-3].

Поскольку необходимый комплекс эксплуатационных характеристик и ресурс изделий закладывается на стадии их производства, то чрезвычайно важным является контроль качества исходных материалов и определения глубины упрочненного слоя.

Именно контроль механических свойств на стадии изготовления должен являться первоочередным в реализации комплексной программы диагностики объектов в процессе их эксплуатации, так как только в этом случае можно зафиксировать тенденцию изменения тех параметров, от которых зависит остаточный ресурс.